3.1 高緯度におけるジャイロコンパスの誤差に関する報告

3.1 Report on the Gyrocompass error at higher latitude

AZUMA　Taeko

1. はじめに

船舶における方位を示すものは、主としてマグネットコンパスおよびジャイロコンパスがあり、通常ジャイロコンパスを運行常用いている。また、本船においてはリングレーザージャイロ photo.1 も設置されている。

ジャイロコンパスは、回転惰性とプレセッションの特性を利用したものである。真の北を向くためその利用度は高いが、緯度誤差、速度誤差、変速度誤差、動揺誤差（遠心力）等を含む[1)]ことが言われている。各誤差のうち緯度誤差、速度誤差は、ジャイロ軸に対する地球自転の影響によるもので、航海を行う上ではこの 2 つの誤差が指方位に大きな影響がある。誤差は赤道に近づくほど小さく、極に近づくほど大きくなり、特に、緯度 60 ° 付近では 1.8 °、70 ° 付近では 2.3 ° の誤差があるとされている。[2)] また、SOLAS 条約においても、高緯度においてのジャイロコンパスの指方位は誤差が大きいとされ、船舶の安全な航行のためには適用範囲外とされている。

緯度誤差はスペリー型のジャイロコンパス特有の誤差で、ジャイロが地球自転の方位旋回を追うために必要な水銀（または液体）安定器のトルクの鉛直軸周りの成分が原因であるとされている。

速度誤差は、ジャイロコンパスを装備した船が東または西以外の針路を航行するときにおいて地球自転軸以外の軸周りの角速度を持つために生ずる指度の誤差である。これは速力・針路（北進か南進か)・緯度によってその値が決まり、ジャイロコンパスの種類、型式に関係なく生じる。誤差の値は針路が北または南の場合に最大であり、東または西の場合と停船の場合には 0 となる。船が北方針路を持って航行すると、ジャイロコンパスは地球自転の速度のほかに北方の速度を持つことになり、その合成速度はもはや東ではなく北に偏した東となる。ジャイロコンパスはこの合成速度に直角な水平方向を指すことになるから、真の北との間にずれが生ずる。この速度誤差は緯度と針路、自船の速力を「速度誤差表」に当てはめ、そこで得られた修正値を加減することによって真針路を求めることができる。[3)]

本船が装備しているジャイロコンパス Photo.2 は Anschutz 式のコンパスであるから、緯度誤差はないものと考え、各緯度によるジャイロコンパスの誤差は速度誤差が原因であると考えられる。

光の位相差によって重力変化を感知する高精度の方位測定機器であるリングレーザージャイロは、主に軍事機器として製作され、本船におけるリングレーザージャイロは、軍用から潮流観測などの精密観測用機器として改造され設置された。リングレーザージャイロはレーザーを用いてその周波数差または位相差から回転角速度を測る高精度の方位測定機器である。円形や三角形の光路に、一定の波長のレーザー光を右回りと左回りの両方向に走らせ,光路が回転すればドプラー効果で左右に周波数差生じるのでそれを検出する。リングレーザージャイロにはリング型と光ファイバーを巻いた型がある。リング型は周波数差を検出して回転角速度を測り、光ファイバー型は位相差を検出して測るものである。また、リング型はレーザー光を内部で発振するが、光ファイバー型は外から入れる。そして、本船に装備されたリングレーザージャイロはリング型である。リング型は一辺 10 ㎝ほどの三角形のものが慣性基準システム（IRS）に組み込まれ、INS のセンサーは機体に直接ストラップダウン方式によって取り付けられ,角速度や加速度計の入力を計算機で処理して、機体座標から地球座標に変換できる。[4)] データとして、方位信号（精度 1/1000 度)、方位角・ピッチ角・ロール角、方位角レート・ピッチ角レート・ロール角レート、東西速度・南北速度・上下速度・船首速度・正横速度、および計算緯度が出力される。

Photo.1 Ring leaser Gyrocompass

Co.Yokokaawa　Navitec　CMZ-2000

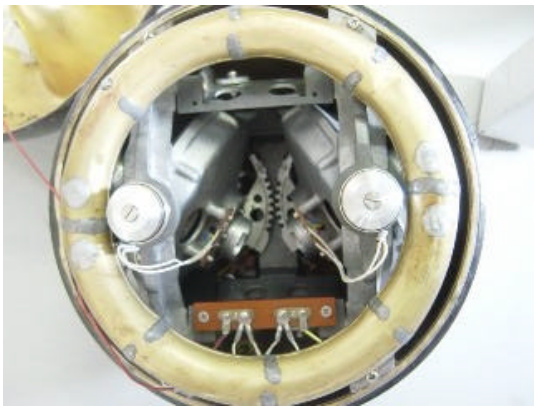

Photo.2 Gyro compass (Anschutz type)

FURUNO

方位出力においては加速度の方向を光の位相差で検出し、方位変化量を出力している。[5)]

今日まで、高精度の光ファイバーを用いたコンパスでの高緯度海域における指方位を得ることはなかった。そこで今回、海鷹丸第 9 次航海において、南氷洋海域でのリングレーザージャイロ、ジャイロコンパスの指方位を船内 LAN に接続し、同時に測定収録を行い、リングレーザージャイロを基準としたジャイロコンパスの高緯度における誤差と同緯度、異経度におけるデータを検討した。また、南北半球を含む太平洋、インド洋におけるデータとも比較することで誤差の有効性も検討した。

2．方法

a. 調査海域

東京～ポートルイス（モーリシャス）間

【北緯 35°～南緯 20°】

ポートルイス～フリーマントル（オーストラリア）間

【南緯 40°～南緯 58°・東経 100°付近　】

フリーマントル～ホバート間

【南緯 40°～南緯 66°・東経 140°付近】

b. データ

リングレーザージャイロ、ジャイロコンパスの方位および月日、時間を 1 秒～10 分間隔で船内 LAN に収録した。また、リングレーザージャイロにおいては、方位角・ピッチ角・ロール角、方位角レート・ピッチ角レート・ロール角レート、東西速度・南北速度・上下速度・船首速度・正横速度、および計算緯も収録した。

c. 解析

東京～ポートスイス間は 10°間隔に、ポートスイス～フリーマントル間、フリーマントル～ホバート間は 5°間隔に'00～'59 までの収録データを取り出し比較分析を行った。解析において、リングレーザージャイロの指方位が正確であると仮定した。

3．結果及び考察

Table.1、Fig.1 に東京～ポートルイス間を航行したときのリングレーザージャイロを基準としたジャイロコンパスの方位誤差を示した。この区間でのリングレーザージャイロとジャイロコンパスの誤差の平均は約 0．27°であった。北緯 30°,北緯 10°において誤差の最大値が１°以上になったが、平均値的には問題のない誤差である。また、南北半球に分けて比較すると北半球のほうが誤差の平均値、範囲が大きいことがわかる。

Tabe.2、Fig.2 はポートルイス～フリーマントル間の方位誤差である。この区間の誤差の平均は約 0．43°であった。南緯 45°～55°において平均値、最大値ともに大きく、誤差の幅も広い。これは速度誤差によるものと、暴風圏により船体の動揺が大きかったため、動揺誤差、遠心力誤差の影響もあったためと思われる。この区間を通して針路は 155°、速力は 16 ノットであった。速度誤差表より、この場合の誤差は 1．6°であるから、やはり動揺誤差、遠心力誤差の影響もあるとかんがえられる。58°においては観測のため、速力はほとんどなかった。そのため速度誤差も小さく、45°から 55°の区間で見られたほどの誤差は得られなかったとおもわれる。針路、速力は常に変化していたため一概には言えないが、速度誤差表において緯度 58°、速力 4 ノットにおける速度誤差は 0．4°であり、得られたデータの誤差と近く、妥当な結果であったといえる。また、この区間になると両コンパスの値が同じになることも少なくなり、常にほんのわずかな誤差が生じており、誤差のばらつきも大きい。このことから、やはり高緯度においては誤差が大きいといえる。

Table.3、Fig.3 はフリーマントル～ホバート間の誤差を示した。ポートルイス～フリーマントル間と比較しても経度による差は見られない。南緯 66°において誤差の最大値が 3°となった。このときの針路は 0°で速力はだいたい 12 ノットであった。速度誤差表により、この場合の誤差は 2．4°であり、これも妥当な結果だといえる。

東京～ポートルイス間の低緯度のデータと南氷洋海域の高緯度のデータを比較すると、低緯度では平均 0．1°、高緯度では平均 0．5°の誤差になり、高緯度に行くほど誤差が大きくなる傾向が見られた。特に、暴風圏と予想される区間では速度誤差に動揺誤差、遠心力誤差が加わるため、誤差のばらつきが大きくなると思われる。

4．まとめ

高緯度になるにつれ誤差も大きくなるが、平均で 0．5°程度であるから、これらは誤差の許容範囲といえる。しかし、誤差最大値が 2．5°以上であるので緯度 50°以上を航行するに当たり、確実に信用できる計器とは言い難い。

北緯 0°においては誤差のばらつきの範囲が狭く、南緯 50°以上においてはその範囲が広いことから、赤道に近づくほど強く、極に近づくほど弱いというジャイロコンパスの指北力の違いが実証されたといえる。

今回データ解析にあたり、リングレーザージャイロの指方位を基準としたが、リングレーザージャイロ自体の精度がどれだけ優れているのか、どのような状態で誤差がおおきくなるのかがわかっていないため、今後リングレーザ-ジャイロについての調査が必要であると考える。

参考文献

1) 飯島幸人・林　尚吾　共著,航海計測,成山堂,1986,pp38-44

2) ADMIRALTY SAILING DIRECTIONS (ANTARCTIC PILOT/Fifth Edition, HYDROGRAPHIC OFFICE, 1997,pp2

3) 茂在寅男・小林實 著,コンパスとジャイロの理論と実際,海文堂,1971,pp89-91

4) 藤井弥平 著,電子航法のはなし,成山堂,1995,pp30-31

5)リングレーザージャイロ取扱説明書,YOKOKAWA,200.

	AVERAGE	STDEV	MAX	MIN
30 ° N	0.570055	0.382696	1.7	0
20 ° N	0.212963	0.160741	0.7	0
10 ° N	0.255063	0.179257	1.3	0
0 ° N	0.197727	0.140578	0.4	0
10 ° S	0.213725	0.165855	0.8	0
20 ° S	0.185417	0.141406	0.6	0

Table.1 Averaged differential direction of Gyro compass Tokyo to Mauritious

	AVERAGE	STDEV	MAX	MIN
40 ° S	0.290828	0.238349	1.064	0
45 ° S	0.614592	0.446765	2.372	0.002
50 ° S	0.357527	0.31888	2.235	0.002
55 ° S	0.515574	0.402441	2.963	0
58 ° S	0.353004	0.285715	1.608	0.001

Table.2 Averaged differential direction of Gyro compass Mauritious to Fremantle

	AVERAGE	STDEV	MAX	MIN
40 ° S	0.408731	1.144755	1.957	0.001
45 ° S	0.626587	0.376365	2.2	0
50 ° S	0.580358	0.450027	2.848	0.001
55 ° S	0.57967	1.276458	2.352	0
60 ° S	0.387563	0.30481	1.942	0.002
65 ° S	0.505131	0.390613	1.898	0.003
66 ° S	0.558798	0.656335	3.126	0.002

Table.3 Averaged differential direction of Gyro compass Fremantle to Hobart

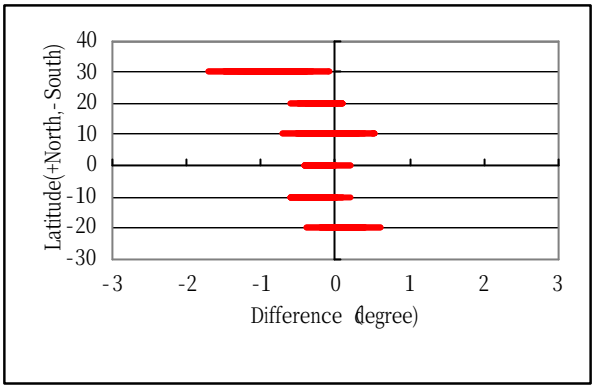

Fig.1 Direction difference of Gyrocompass Tokyo to Mauritious

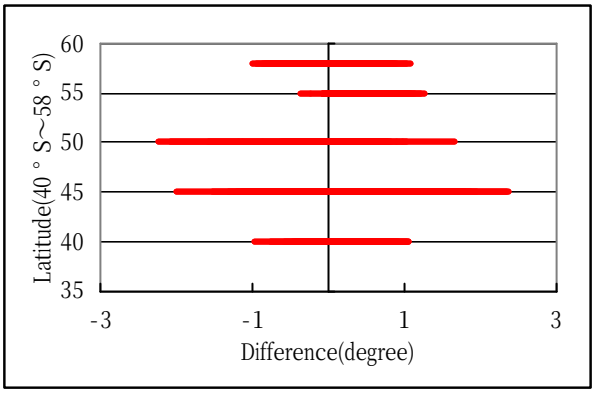

Fig.2 Direction difference of Gyro compass 【Longitude100 ° E】 Mauritious to Fremantle

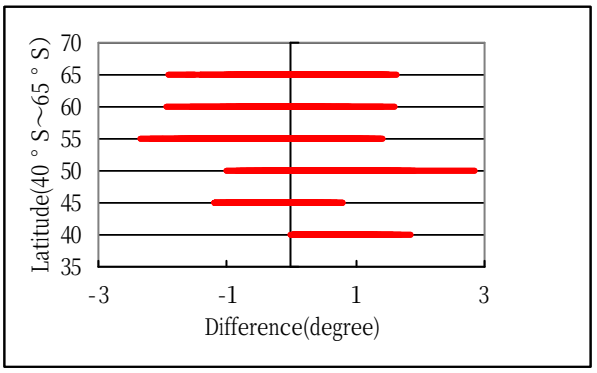

Fig.3 Direction difference of Gyrocompass 【Longitude140 ° E】 Fremantle to Hobart